



## Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto

Altina L. Nascimento<sup>1</sup>, Regynaldo A. Sampaio<sup>2</sup>, Geraldo R. Zuba Junio<sup>3</sup>, João P. Carneiro<sup>4</sup>, Luiz A. Fernandes<sup>5</sup> & Márcio N. Rodrigues<sup>6</sup>

<sup>1</sup> ESALQ/USP. Piracicaba, SP. E-mail: [altinalacerda@yahoo.com.br](mailto:altinalacerda@yahoo.com.br) (Autor correspondente)

<sup>2</sup> ICA/UFMG. Montes Claros, MG. E-mail: [rsampaio@ufmg.br](mailto:rsampaio@ufmg.br)

<sup>3</sup> ICA/UFMG. Montes Claros, MG. E-mail: [juniozuba@yahoo.com.br](mailto:juniozuba@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> ICA/UFMG. Montes Claros, MG. E-mail: [jpauloagro@yahoo.com.br](mailto:jpauloagro@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> ICA/UFMG. Montes Claros, MG. E-mail: [larnaldo@ufmg.br](mailto:larnaldo@ufmg.br)

<sup>6</sup> ICA/UFMG. Montes Claros, MG. [marcionrodrigues@gmail.com](mailto:marcionrodrigues@gmail.com)

### Palavras-chave:

*Helianthus annuus*  
biossólido  
adubação orgânica  
poluição do solo

### RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar os teores de metais pesados no solo e em plantas de girassol adubadas com doses de lodo de esgoto. O experimento foi desenvolvido em Cambissolo Háplico, no período de abril a setembro de 2011. Os tratamentos, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, corresponderam a um tratamento com adubação química e cinco doses de lodo de esgoto aplicadas com base nos teores de N do resíduo e na exigência de N do girassol (0; 4,84; 9,68; 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup>, em base seca). Os teores de Zn no solo e na planta foram maiores nos tratamentos com a aplicação de lodo de esgoto quando comparados com a adubação química. A aplicação de lodo de esgoto resulta em aumento nos teores de Cu, Ni e Pb no solo e não apresenta influência sobre os teores de Zn, Fe, Mn, B, Cd e Cr neste substrato. Por outro lado, na planta, com o aumento da dose de lodo de esgoto, houve aumento dos teores de Zn, Cu e Mn e redução do teor de Pb.

### Key words:

*Helianthus annuus*  
biosolids  
organic fertilizer  
soil pollution

## Heavy metal contents in soil and in sunflower fertilized with sewage sludge

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the contents of heavy metals in soil and in sunflower plants fertilized with sewage sludge. The experiment was conducted in Cambisol, during the period of April to September 2011. The treatments, distributed in a randomized block design with four replicates, corresponding to a treatment with chemical fertilization and five doses of sewage sludge, based on the N content in residue and N requirement of sunflower (0, 4.84; 9.68; 19.36 and 29.04 t ha<sup>-1</sup>, on dry weight basis). Zn levels in soil and plant were higher under the application of sewage sludge compared to treatment of chemical fertilizer. The application of sewage sludge increases levels of Cu, Ni and Pb in soil and has no influence on the levels of Zn, Fe, Mn, B, Cd and Cr in this substrate. On the other hand, at the plant, with increased of sewage sludge dose, it was observed an increase in the levels of Zn, Cu, and Mn and reduction on Pb content.

## INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento das regiões metropolitanas gera quantidades cada vez maiores de todos os tipos de resíduos, dentre os quais o lodo de esgoto, o qual é visto como provável fonte de nutrientes para as culturas em áreas agrícolas. A proposta de usar lodo de esgoto em campos de cultivo como forma sustentável de destinação final do resíduo se baseia no seu alto teor de C orgânico e nos elevados níveis de nutrientes (Bueno et al., 2011).

Resultados de pesquisas da aplicação do lodo de esgoto em solos evidenciam aumentos na absorção de nutrientes pelas culturas com reflexos na produtividade, que pode ser igual e, em alguns casos, superior à adubação química (Nascimento et al., 2004; Lavado, 2006; Lemainski & Silva, 2006; Zuba

Junio et al., 2012; Ribeirinho et al., 2012). Lobo & Grassi Filho (2007) constataram que o lodo de esgoto, quando aplicado em quantidade suficiente para fornecer o N exigido pela cultura do girassol, gera produtividade de sementes equivalente à obtida com a adubação mineral. Vieira et al. (2005) também constataram maiores produtividades de soja em parcelas adubadas com lodo de esgoto quando comparadas às parcelas que receberam adubação química.

Embora apresente benefícios, como a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo, resultando em aumentos na produtividade das culturas, o lodo de esgoto apresenta alguns elementos potencialmente prejudiciais ao desenvolvimento das plantas e à saúde humana e animal, como a presença de metais pesados, microrganismos patogênicos e contaminantes

orgânicos, que podem inviabilizar a utilização agrícola do resíduo.

De acordo com Nascimento et al. (2004), a presença de metais pesados constitui uma das principais limitações ao uso do lodo na agricultura, sendo que, o aumento desses elementos em solos e em plantas tem sido constantemente observado (Singh & Agrawal, 2007; Roig et al., 2012; Nogueira et al., 2013; Bramryd, 2013). De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são bem maiores que as naturalmente encontradas em solos, razão pela qual há necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação deste resíduo. Mencionados riscos dependem de características do solo, tais como: conteúdo original do metal, textura, teor de matéria orgânica, tipo de argila, pH e capacidade de troca catiônica (Nascimento et al., 2004). Objetivou-se então, com este trabalho, avaliar os teores de metais pesados no solo e em plantas de girassol adubadas com doses de lodo de esgoto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril a setembro de 2011, no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado em Montes Claros, MG, latitude 16° 51' 38" S e longitude 44° 55' 00" W, em Cambissolo Háplico, cujas características químicas e físicas, determinadas conforme metodologias preconizadas pela EMBRAPA (1997), são apresentadas na Tabela 1.

Utilizou-se o delineamento estatístico de blocos casualizados (DBC), com 6 tratamentos e 4 repetições, sendo um tratamento químico (20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O antes do plantio e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N 45 dias após emergência) aplicado de acordo com as Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (CFSEMG, 1999) e cinco doses de lodo de esgoto aplicadas com base nos teores de nitrogênio disponível (Brasil, 2006) e na exigência da cultura (CFSEMG, 1999). As doses foram assim definidas: 0; 50; 100; 200 e 300% da necessidade de N do girassol, correspondendo, respectivamente, às quantidades: 0,00; 4,84; 9,68; 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto. Como planta indicadora utilizou-se o híbrido simples de girassol, Helio 250.

O lodo de esgoto foi coletado na estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Juramento, MG. A ETE possui

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental<sup>1</sup>

Atributos do solo	Camada (cm)	
	0-20	20-40
pH em água	6,60	5,50
P Mehlich (mg kg <sup>-1</sup> )	1,54	0,30
P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	25,32	15,15
K (mg kg <sup>-1</sup> )	98,00	42,00
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,70	3,60
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,60	1,40
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	1,10
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,50	0,20
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	59,35	43,15
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	8,25	0,60
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	0,30	0,35
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00
Pb (mg dm <sup>-3</sup> )	0,90	0,90
Ni (mg dm <sup>-3</sup> )	0,44	0,35
Cd (mg dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00
Cr (mg dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,80	4,32
Soma de Bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,55	5,11
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,55	6,21
Saturação por alumínio (%)	0,00	18,00
CTC potencial (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,35	9,43
Saturação por bases (%)	83,00	54,00
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	5,18	3,39
Areia grossa (dag kg <sup>-1</sup> )	12,90	6,40
Areia fina (dag kg <sup>-1</sup> )	25,10	29,60
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	28,00	30,00
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	34,00	34,00

<sup>1</sup> Metodologias recomendadas pela EMBRAPA (1997)

linha de tratamento composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa e tratamento do lodo de esgoto por meio do processo de solarização em leito de secagem. Os teores de metais pesados nos adubos químicos e no lodo de esgoto utilizado no experimento, assim como as quantidades de metais aplicados ao solo em cada dose de lodo de esgoto, são apresentados na Tabela 2.

As adubações referentes aos tratamentos com lodo de esgoto foram realizadas de uma única vez, no sulco de plantio. As parcelas experimentais se constituíram de quatro linhas de 3 m de comprimento espaçadas 0,80 m, sendo a parcela útil as duas linhas centrais, desprezando-se 0,6 m de cada extremidade. O semeio foi realizado em sulcos colocando-se três sementes por cova a uma distância de 0,30 m entre plantas. Quinze dias

Tabela 2. Características químicas do lodo de esgoto e quantidades de nutrientes aplicadas com as diferentes doses

Material	Características químicas <sup>1</sup>									
	N(disponível) kg t <sup>-1</sup>	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Ni	Pb	Cd	Cr
		mg kg <sup>-1</sup>								
Super fosfato simples	-	142,0	-	-	16,20	-	62	116	116	333
Uréia	-	2,5	-	-	1,62	-	0	8	8	0
Cloreto de Potássio	-	2,5	-	-	4,62	-	15	83	83	0
Lodo de esgoto	6,2	357,0	23.604	182	68,50	16	0,44	0,9	0	0
Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )		Quantidades aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> )								
4,84	30	1,73	114,24	0,88	0,33	0,077	0,002	0,004	0	0
9,68	60	3,46	228,49	1,76	0,66	0,155	0,004	0,009	0	0
19,36	120	6,91	456,97	3,52	1,33	0,310	0,009	0,017	0	0
29,04	180	10,37	685,46	5,29	1,99	0,465	0,013	0,026	0	0

<sup>1</sup> Metodologias de Tedesco et al. (1995); N<sub>disponível</sub> - Teor de nitrogênio disponível calculado de acordo com a resolução CONAMA 375 de agosto de 2006 (Brasil, 2006)

após a emergência fez-se o desbaste deixando-se apenas uma planta por local de semeio. Manteve-se a área de cultivo sem a presença de plantas espontâneas por meio de capina manual e se fez o fornecimento de água à cultura, por meio de irrigação por aspersão.

No início do florescimento da cultura foram escolhidas, aleatoriamente, 10 plantas na parcela útil, das quais foram coletadas amostras de folhas do terço superior para análise química dos teores de Zn, Cu, Pb, Cr, Cd e Ni (Tedesco et al., 1995; Oliveira, 2004). Após a colheita coletaram-se, entre plantas e nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, 8 subamostras de solo por parcela para formar amostras compostas para análises de Zn, Cu, Pb, Cr, Cd e Ni (Tedesco et al., 1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos que foram adubados com doses de lodo de esgoto foram comparadas com a média do tratamento que recebeu adubação química, a 0,05 de probabilidade de erro, pelo teste Dunnett. Por outro lado, as médias referentes às doses de lodo de esgoto foram ajustadas a modelos de regressão testando-se os coeficientes até 1,0 nível de probabilidade pelo teste t.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os metais pesados Cd e Cr não foram detectados no solo por meio do método de análise utilizado; também a concentração dos metais no composto de lodo de esgoto não ultrapassou a concentração máxima permitida em produto derivado do lodo de esgoto (Brasil, 2006) e a quantidade de metais aplicada no solo não ultrapassou a carga acumulada teórica permitida pela resolução CONAMA nº 375, de agosto de 2006 (Brasil, 2006).

Na Tabela 3 se encontram as médias dos teores de metais pesados no solo adubado com lodo de esgoto comparadas com as médias obtidas com a adubação química. Como se observa, quando aplicado lodo de esgoto ou adubação química os teores médios de metais pesados no solo, nas duas profundidades avaliadas, foram semelhantes, exceto para o Zn na profundidade

de 0-20 cm, cujos teores do elemento foram superiores com a adubação com lodo de esgoto na dose de 19,36 t ha<sup>-1</sup>. Ressalta-se que com a aplicação das maiores doses de lodo de esgoto ao solo os teores do elemento foram elevados a níveis classificados como médio enquanto nas parcelas que receberam adubação química e na dose 0 e 9,68 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, foram classificados como baixo (Galvão, 2004).

Apesar de não detectados no solo pelo método analítico, os metais pesados Cd e Cr foram detectados no limbo foliar do girassol mas os teores desses elementos, assim como dos demais metais pesados, não variaram em razão da adubação química ou da aplicação de lodo de esgoto (Tabela 4), exceto o teor de Zn, que se apresentou em maiores quantidades na folha quando o girassol foi adubado com doses de 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup> do resíduo. Corroborando com esses resultados, Lobo & Grassi Filho (2009) observaram que plantas de girassol cultivadas em solo adubado com lodo de esgoto apresentam teores foliares de Zn superiores àquelas cultivadas com a adubação química.

De acordo com Galvão (2004) os teores de Zn no solo de 0-1,0 mg dm<sup>-3</sup> são classificados como baixo e para o cultivo do girassol deve-se aplicar 6 kg ha<sup>-1</sup> para correção da deficiência do elemento no solo. Antes da instalação do experimento os teores de Zn eram 0,50 e 0,20 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente e, com as doses 4,84, 9,68, 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, foram aplicadas quantidades respectivas de 1,73, 3,46, 6,91 e 10,37 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Observa-se, nas maiores doses de lodo de esgoto, que as quantidades aplicadas do micronutriente ficaram próximas das recomendadas, principalmente se considerando que se trata de adubo orgânico e, assim sendo, o elemento não se encontra prontamente disponível no momento da aplicação. Entretanto, apesar do aumento na quantidade aplicada do elemento, não foram observados aumentos nos teores de Zn no solo em razão da aplicação do lodo de esgoto, o que pode estar relacionado à maior extração do elemento provocada tanto pela maior produtividade da cultura quanto pelo

Tabela 3. Valores médios referentes aos teores de metais pesados no solo adubado com fertilizante químico (AQ) ou com dose de lodo de esgoto

Metal	Prof. cm	AQ	Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					CV %	Limite <sup>1</sup> mg dm <sup>-3</sup>
			0	4,84	9,68	19,36	29,04		
			mg dm <sup>-3</sup>						
Zn	0-20	0,60 a	0,50 a	1,30 a	0,70 a	1,40 b	1,10 a	45,39	2.800
	20-40	0,20 a	0,23 a	0,35 a	0,25 a	0,65 a	0,48 a	66,17	
Cu	0-20	0,40 a	0,35 a	0,40 a	0,40 a	0,50 a	0,48 a	30,24	1.500
	20-40	0,40 a	0,20 a	0,30 a	0,30 a	0,40 a	0,40 a	30,41	
Fe	0-20	57,80 a	46,50 a	45,20 a	49,30 a	54,20 a	50,20 a	43,45	-
	20-40	45,50 a	33,73 a	31,93 a	37,35 a	45,20 a	45,55 a	37,82	
Mn	0-20	7,30 a	6,30 a	8,80 a	4,80 a	6,40 a	7,20 a	40,21	-
	20-40	0,48 a	1,20 a	0,78 a	0,73 a	0,60 a	1,23 a	79,15	
B	0-20	0,90 a	0,70 a	0,70 a	0,60 a	0,70 a	0,70 a	18,01	-
	20-40	0,60 a	0,60 a	0,55 a	0,60 a	0,55 a	0,53 a	8,21	
Pb	0-20	1,40 a	1,38 a	1,15 a	1,15 a	1,65 a	1,63 a	29,10	300
	20-40	1,40 a	1,40 a	1,40 a	1,88 a	1,42 a	1,65 a	35,48	
Ni	0-20	0,30 a	0,30 a	0,30 a	0,30 a	0,30 a	0,39 a	35,48	420
	20-40	0,35 a	0,31 a	0,35 a	0,35 a	0,35 a	0,18 a	28,58	

AQ - Adubação química; Prof - Profundidade; <sup>1</sup>Adaptado de USEPA (2007), considerando a densidade do solo igual a 1 g cm<sup>-3</sup> e 20 cm de profundidade; Médias de tratamentos referentes às doses de lodo de esgoto com a mesma letra da adubação química, na horizontal, não diferem desta a nível 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett

Tabela 4. Teores de metais pesados na folha de girassol em resposta à aplicação de lodo de esgoto ou adubação química

Metais	Tratamentos						CV %
	AQ	Lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					
		0	4,84	9,68	19,36	29,04	
		mg kg <sup>-1</sup>					
Zn	38,25 a	35,00 a	39,50 a	44,50 a	50,25 b	51,75 b	9,83
Cu	28,80 a	21,00 a	23,00 a	24,20 a	27,20 a	26,50 a	23,25
Fe	171,50 a	190,50 a	170,25 a	173,75 a	177,25 a	171,25 a	24,27
Mn	26,80 a	21,80 a	25,00 a	33,00 a	30,20 a	30,50 a	33,24
B	84,00 a	73,50 a	92,00 a	75,30 a	67,00 a	86,90 a	23,61
Pb	50,10 a	48,68 a	49,38 a	49,38 a	45,15 a	45,83 a	8,45
Ni	12,50 a	11,10 a	10,60 a	11,50 a	13,50 a	13,50 a	25,09
Cd	0,40 a	0,28 a	0,27 a	0,28 a	0,40 a	0,45 a	79,64
Cr	13,68 a	14,70 a	13,68 a	11,60 a	15,75 a	13,65 a	35,99

AQ - Adubação química; Médias de tratamentos referentes às doses de lodo de esgoto com a mesma letra da adubação química, na horizontal, não diferem desta a nível 0.05 de probabilidade pelo teste Dunnett

Tabela 5. Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados no solo às doses de lodo de esgoto

Metal	Equação	R <sup>2</sup>	DL (mg ha <sup>-1</sup> )	TMS	Limite <sup>1</sup>	
				(mg dm <sup>3</sup> )		
Zn	0-20	Y = Ym = 1,0	-	-	1,00	2.800
	20-40	Y = Ym = 0,39	-	-	0,39	
Cu	0-20	Y = 0,34255 + 0,0276°X <sup>0,5</sup>	0,8519	29,04	0,49	1.500
	20-40	Y = 0,2371 + 0,00659°X	0,8430	29,04	0,43	
Fe	0-20	Y = Ym = 49,08	-	-	49,08	-
	20-40	Y = Ym = 38,75	-	-	38,75	
Mn	0-20	Y = Ym = 6,70	-	-	6,70	-
	20-40	Y = Ym = 0,91	-	-	0,91	
B	0-20	Y = Ym = 0,68	-	-	0,68	-
	20-40	Y = Ym = 0,56	-	-	0,56	
Ni	0-20	Y = Ym = 0,32	-	-	0,32	74
	20-40	Y = 0,3036 + 0,011224°X - 0,00056°X <sup>2</sup>	0,9610	10,02	0,36	
Pb	0-20	Y = 1,2461 + 0,0005387°X <sup>2</sup>	0,6079	29,04	1,70	300
	20-40	Y = Ym = 1,55	-	-	1,55	

DL - Dose de lodo de esgoto que resultou em maior concentração de metal pesado no solo; TMS - Teor máximo de metal pesado no solo; Ym - Valor médio; <sup>1</sup>Adaptado de USEPA (2007), considerando a densidade do solo igual a 1 g cm<sup>-3</sup> e 20 cm de profundidade; °, \*, \*\*, \*\*\*Significativos a nível 1,0; 0,5; 0,1 e 0,01 de probabilidade pelo teste t, respectivamente

aumento nos teores do elemento na planta (Tabela 5) com o aumento da dose de lodo de esgoto. Contrário aos resultados aqui obtidos, Borges & Coutinho (2004) e Nogueira et al. (2013) observaram aumentos lineares nos teores de Zn no solo com o aumento da dose de lodo de esgoto. Entretanto, esses autores aplicaram lodo de esgoto com concentrações de Zn muito superiores às utilizadas neste experimento (1279 e 1869 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Zuba Junio et al. (2011) também observaram que o lodo de esgoto promove aumento nos teores de Zn no solo; embora tenham utilizado um lodo de esgoto com teores de Zn equivalentes aos do presente experimento, as doses testadas por esses autores foram bem superiores.

Os teores de Cu no solo aumentaram linearmente com o aumento das doses de lodo de esgoto (Tabela 5) o que elevou os teores do micronutriente de 0,34 para 0,49 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0-20 cm de profundidade e de 0,24 para 0,43 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 20-40 cm, com alteração na classificação agrônômica de baixo para médio, em ambas as profundidades (Galvão, 2004). Embora tenha ocorrido aumento nos teores de Cu no solo em razão da aplicação do lodo de esgoto, não foram constatados riscos de contaminação do solo pelo elemento uma vez que as quantidades adicionadas de Cu no solo, mesmo com a aplicação da maior dose do resíduo (1,99 kg ha<sup>-1</sup> de Cu quando aplicado

29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto) ficaram aquém da recomendada por Galvão (2004) considerando a baixa disponibilidade do elemento no solo antes da instalação do experimento (2 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, quando os teores no solo, estão entre 0-40 mg dm<sup>-3</sup>). Aumentos nos teores de Cu no solo adubado com lodo de esgoto também foram relatados por Borges & Coutinho (2004), Galdos et al. (2004), Rangel et al. (2004), Silva et al. (2006) e Zuba Junio et al. (2011).

Embora o Fe tenha sido o metal que se apresentou em maiores concentrações no resíduo e tendo sido adicionadas com as doses 4,84, 9,68, 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto quantidades respectivas aproximadas de 114, 228, 457 e 685 kg ha<sup>-1</sup> de Fe, não houve influência da aplicação de lodo de esgoto sobre os teores do elemento no solo e as médias observadas nas duas profundidades após a colheita do girassol foram inferiores às constatadas antes da instalação do experimento.

Os teores iniciais de Mn no solo na camada de 0-20 cm de 8,25 mg dm<sup>-3</sup> são classificados como alto e nesta situação, segundo Galvão (2004) para o cultivo do girassol não é necessária a adição de Mn. Com as doses 4,84, 9,68, 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto foram adicionados ao solo 0,88, 1,76, 3,52 e 5,29 kg ha<sup>-1</sup> de Mn; contudo, os teores do elemento no solo não foram influenciados pela aplicação das doses de lodo

de esgoto (Tabela 5) embora, de acordo com dados apresentados por Zobiolo et al. (2011), o girassol extraia apenas cerca de 0,84 kg ha<sup>-1</sup> de Mn. Borges & Coutinho (2004) constataram aumento nos teores de Mn no solo com a aplicação de lodo de esgoto; no entanto, como relatado para os teores de Zn, o lodo utilizado por esses autores também apresentava teores mais elevados de Mn e foram aplicadas doses superiores às do presente experimento.

Não foi detectado B no solo antes da instalação do experimento pelo método analítico utilizado. Com as doses 4,84, 9,68, 19,36 e 29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto foram adicionadas quantidades respectivas de 0,07, 0,16, 0,31 e 0,45 kg ha<sup>-1</sup> de B. Como nas condições de solo do presente experimento Galvão (2004) recomenda a aplicação de 0,4 kg ha<sup>-1</sup> de B para o cultivo do girassol, constatou-se que apenas com a aplicação da maior dose do resíduo o aporte de B no solo atingiu os valores recomendados. Mesmo tendo havido aumento na quantidade do elemento adicionada ao solo com o aumento nas doses de lodo de esgoto, não foi constatada influência da aplicação do resíduo sobre os teores do elemento no solo (Tabela 5), o que pode estar relacionado ao aumento da extração do nutriente devido ao aumento de produtividade nas maiores doses aplicada uma vez que, como citado antes, com a maior dose do resíduo foram adicionados 0,45 kg ha<sup>-1</sup> de B e, de acordo com dados apresentados por Zobiolo et al. (2011) o girassol extrai cerca de 0,37 kg ha<sup>-1</sup> do elemento por cultivo.

Não foram constatadas alterações nos teores de Ni no solo na camada de 0-20 cm em razão da aplicação de lodo de esgoto. Contudo, na camada de 20-40 cm os teores de Ni no solo foram influenciados pela aplicação do resíduo (Tabela 5). De acordo com a equação ajustada, a dose que resultou em maiores teores do elemento na camada de 20-40 cm, foi 10,02 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto sendo observados valores de Ni no solo de 0,36 mg dm<sup>-3</sup>. Apesar do aumento nos teores de Ni, o maior valor observado se encontra dentro da faixa de 0,14 a 0,62 mg dm<sup>-3</sup> constatados por Abreu et al. (1995) em 31 diferentes amostras de solo não contaminados. Aumento nos teores de Ni no solo em razão da aplicação de lodo de esgoto também foi constatado por Silva et al. (2006) e Nogueira et al. (2013).

Como se verifica na Tabela 5, houve aumento nos teores de Pb no solo com o aumento da dose de lodo de esgoto na camada de 0-20 cm. Nas parcelas em que não foi aplicado o resíduo, o valor médio de Pb no solo foi de 1,25 mg dm<sup>3</sup> e com a aplicação da maior dose do resíduo este valor passou para 1,70 mg dm<sup>3</sup>. Embora tenha ocorrido aumento nos teores de Pb no solo com o aumento das doses de lodo de esgoto, não foram constatados riscos de contaminação uma vez que Abreu et al. (1995), também constataram, utilizando o extrator Mehlich 1, teores de Pb que variaram de 1,1 a 2,60 mg dm<sup>-3</sup> em 31 amostras de solo não contaminadas. Aumento nos teores disponíveis de Pb no solo em razão da aplicação de doses de lodo de esgoto também foi relatado por Borges & Coutinho (2004), Zuba Junio et al. (2011) e Nogueira et al. (2013). Por outro lado, Silva et al. (2006) avaliaram os teores disponíveis de Pb em solos adubados com dois diferentes tipos de lodo de esgoto e não constataram efeito da aplicação do resíduo sobre os teores do elemento no solo.

Embora não tenham sido constatados aumentos nos teores de Zn no solo, os teores do elemento na planta aumentaram linearmente com o incremento das doses de lodo de esgoto (Tabela 6). Observa-se que nas parcelas nas quais não foi aplicado o resíduo (dose zero), os teores médios de Zn na folha do girassol foram de 36,87 mg kg<sup>-1</sup> e na maior dose aplicada (29,04 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto) esses teores subiram para 53,78 mg kg<sup>-1</sup> mas, tanto os valores constatados com a aplicação da menor dose de lodo de esgoto quanto os observados na maior dose do resíduo, se encontram dentro da faixa considerada nutricionalmente adequada de acordo com Oliveira (2004) e próximo dos 42,6 mg kg<sup>-1</sup> observados por Zobiolo et al. (2011) em plantas de girassol, o que demonstra o potencial do lodo de esgoto para o fornecimento do micronutriente para a cultura.

Como observado no solo, o aumento das doses de lodo de esgoto resultou em aumentos nos teores foliares de Cu (Tabela 6). A equação ajustada demonstra que o teor do elemento na folha com a aplicação da maior dose do resíduo (29,04 t ha<sup>-1</sup>) foi de 27,15 mg kg<sup>-1</sup>. Este valor está dentro da faixa de 25 a 100 mg kg<sup>-1</sup>, considerada adequada para a cultura, segundo Oliveira (2004) e próximo dos 27,94 mg kg<sup>-1</sup> observado por Zobiolo et al. (2011) em plantas de girassol cultivadas com a adubação recomendada para a cultura. Por outro lado, plantas originárias de parcelas onde não foi aplicado o resíduo não atingiram essa faixa de suficiência (Oliveira, 2004), apresentando teores foliares de Cu de 20,85 mg kg<sup>-1</sup>. Contrariando os resultados aqui constatados, Lobo & Grassi Filho (2009) não verificaram aumentos nos teores foliares de Cu em plantas de girassol em razão do aumento na dose de lodo de esgoto.

Os teores de Fe na planta não foram influenciados pela aplicação do lodo de esgoto, o que reflete o ocorrido no solo, pois não houve aumento da disponibilidade do metal com o aumento da dose de lodo de esgoto. Entretanto, os teores médios observados nas folhas de girassol, inclusive nas cultivadas em parcela que não recebeu lodo de esgoto, foram de 176,60 mg kg<sup>-1</sup> enquanto a faixa adequada para a cultura é de 80-120 mg kg<sup>-1</sup> (Oliveira, 2004). Apesar dos valores observados estarem acima do adequado ainda ficaram abaixo dos valores constatados por Zobiolo et al. (2011) em plantas que receberam adubação

Tabela 6. Equações de regressão relacionando os teores de metais pesados na planta de girassol com doses de lodo de esgoto

Elemento	Equação	R <sup>2</sup>	DL (mg ha <sup>-1</sup> )	TMP (mg kg <sup>-1</sup> )	Adequado <sup>1</sup>
Zn	Y = 36,87 + 0,5824***X	0,9198	29,04	53,78	30-80
Cu	Y = 20,8509 + 1,1686*X <sup>5</sup>	0,9163	29,04	27,15	25-100
Fe	Y = Ym = 176,60	-	-	176,60	80-120
Mn	Y = 22,7637 + 1,7669*X <sup>0,5</sup>	0,6476	29,04	32,29	10-20
B	Y = Ym = 78,94	-	-	78,94	35-100
Ni	Y = Ym = 12,04	-	-	12,04	
Cd	Y = Ym = 0,34	-	-	0,34	
Cr	Y = Ym = 13,88	-	-	13,88	
Pb	Y = 49,4964 - 0,144*X	67,90	0	49,50	

DL - Dose de lodo de esgoto que resultou em maior concentração de metais na planta, dentro do intervalo experimental; TMP - Teor máximo de metal na planta, dentro do intervalo experimental; <sup>1</sup>Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004)

química recomendada para a cultura (353 mg kg<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes foram obtidos por Lobo & Grassi Filho (2009), que não constataram aumento nos teores de Fe em plantas de girassol com o aumento da dose de lodo de esgoto, apesar de os teores de Fe no lodo de esgoto utilizado por esses autores serem superiores aos do presente experimento.

O aumento na dose de lodo de esgoto resultou em aumento nos teores foliares de Mn (Tabela 6). Os teores médios do elemento na folha de girassol passaram de 22,76 mg kg<sup>-1</sup>, quando não aplicado lodo de esgoto, para 32,29 mg kg<sup>-1</sup>, na maior dose do resíduo. De acordo com Oliveira (2004) plantas de girassol com níveis nutricionais adequados apresentam teores de Mn na folha que variam de 10-20 mg kg<sup>-1</sup>. Ressalta-se que os valores médios de Mn na folha de girassol no presente experimento foram superiores, até mesmo na dose zero do resíduo; entretanto, não foram observados sintomas de toxidez; além dos valores observados se encontrarem bem abaixo dos 174 mg kg<sup>-1</sup> relatados por Zobiolo et al. (2011) em plantas de girassol adubadas com fertilizantes mineral. Lobo & Grassi Filho (2009) não observaram aumento nos teores de Mn em plantas de girassol em razão da aplicação de doses de lodo de esgoto, e assim como Zobiolo et al. (2011) observaram valores médios bem superiores aos do presente experimento (144 mg kg<sup>-1</sup>).

Apesar de os teores de Ni terem sofrido influência da aplicação de lodo de esgoto no solo, na planta não foram detectadas alterações nos teores do elemento, tal como também não foram detectadas alterações nos teores foliares de Cd e Cr que apresentaram valores médios de 12,04, 0,34 e 13,88 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Como já relatado, dos metais pesados avaliados que não são considerados nutrientes de plantas, apenas o Pb teve seu teor no solo aumentado em razão da aplicação de lodo de esgoto. No entanto, ocorreram, na planta, reduções nos teores do elemento com o aumento da dose do resíduo (Tabela 6). Assim, plantas oriundas de parcelas que não receberam aplicação de lodo de esgoto apresentaram teores médios foliares de 49,50 mg kg<sup>-1</sup> de Pb enquanto aquelas cultivadas em parcelas que receberam a maior dose do resíduo apresentaram teores médios de Pb na folha de 45,31 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 6).

## CONCLUSÕES

1. Os teores de Zn no solo e na planta são maiores com a aplicação de lodo de esgoto em relação à adubação química.
2. A aplicação de lodo de esgoto resulta em aumento nos teores de Cu, Ni e Pb no solo e não apresenta influência sobre os teores de Zn, Fe, Mn, B, Cd e Cr.
3. Na planta ocorrem aumentos nos teores de Zn, Cu e Mn e redução nos teores de Pb com o aumento da dose de lodo de esgoto.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus maiores agradecimentos à FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES/PROCAD, pelo apoio financeiro, o que possibilitou a realização deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- Abreu, C. A.; Abreu, M. E.; Raij, B. van; Santos, W. R. Comparação de métodos de análises para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.463-468, 1995.
- Borges, M. R.; Coutinho, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v.28, p.557-568, 2004.
- Bramryd, T. Long-term effects of sewage sludge application on the heavy metal concentrations in acid pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in a climatic gradient in Sweden. *Forest Ecology and Management*, v.289, p.434-444, 2013.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. <http://www.mma.gov.br/conama/>. 25 Fev. 2012.
- Bueno, J. R. P.; Berton, R. S.; Silveira, A. P. D.; Chiba, M. K.; Andrade, C. A.; Maria, I. C. Chemical and microbiological attributes of na oxisol treated with successive applications of sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1461-1470, 2011.
- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa: CFSMG, 1999. 359p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.
- Galdos, M. V.; Maria, I. C.; Camargo, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577, 2004.
- Galvão, E. Z. Micronutrientes. In: Souza, D. M. G.; Lobado, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap.8, p.185-226.
- Lavado, R. Effects of sewage-sludge application on soils and sunflower yield: Quality and toxic element accumulation. *Journal of Plant Nutrition*, v.29, p.975-984, 2006
- Lemainski, J.; Silva, J. E. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1477-1484, 2006.
- Lobo, T. F.; Grassi Filho, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. *Revista Ciencia del Suelo e Nutrición Vegetal*, v.7, p.16-25, 2007.
- Lobo, T. F.; Grassi Filho, H. Sewage sludge levels on the development and nutrition of sunflower plants. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, v.9, p.245-255, 2009.
- Nascimento, C. W. A.; Barros, D. A. S.; Melo, E. E. C.; Oliveira, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.385-392, 2004.
- Nogueira, T. A. R.; Franco, A.; He, Z.; Braga, V. S.; Firme, L. P.; Abreu-Junior, C. H. short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. *Journal of Environmental Management*, v.114, p.168-177, 2013.

- Oliveira, S. A. Análise foliar. In: Souza, D. M. G.; Lobado, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap.10, p.245-255.
- Rangel, O. J. P.; Silva, C. A.; Bettiol, W.; Guilherme, L. R. G.; Dynia, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, p.15-23, 2004.
- Ribeirinho, V. S., Melo, W. J.; Silva, D. H.; Figueiredo, L. A.; Melo, G. M. P. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, p.166-173, 2012.
- Roig, N. Sierra, J. Martí, E.; Nadal, M.; Schuhmacher, M.; Domingo, J. L. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.158, p.41-48, 2012.
- Silva, C. A.; Rangel, O. J. P.; Dynia, J. F.; Bettiol, W. C.; Manzatto, V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.353-364, 2006.
- Singh, R. P.; Agrawal, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*, v.67 p.2229-2240, 2007.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. *Boletim Técnico*, 5.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency - Title 40 CFR: part 503: Standards for the use or disposal of sewage sludge. 2007. <http://www.epa.gov/>. 6 Mai. 2013.
- Vieira, R. F.; Tanaka, R. T.; Tsai, S. M.; Pérez, D. V.; Silva, C. M. M. S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.919-926, 2005.
- Zobiolo, L. H. S.; Castro, C.; Oliveira, F. A.; Oliveira Júnior, A.; Moreira, A. Sunflower micronutrient uptake curves. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.346-353, 2011.
- Zuba Junio, G. R.; Sampaio, R. A.; Santos, G. B.; Nascimento, A. L.; Carneiro, J. P.; Santos, L. D. T.; Fernandes, L. A. Produção de milho adubado residualmente com composto de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.1289-1297, 2012.
- Zuba Junio, G. R.; Sampaio, R. A.; Santos, G. B.; Nascimento, A. L.; Prates, F. B. S.; Fernandes, L. A. Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.1082-1088, 2011.